

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-25983

(43)公開日 平成11年(1999) 1月29日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I	
H 0 1 M 4/58		H 0 1 M 4/58	
C 0 1 B 25/45		C 0 1 B 25/45	Z
H 0 1 M 4/02		H 0 1 M 4/02	C
			D
	10/40	10/40	Z
審査請求 未請求 請求項の数6 F D 外国語出願 (全 22 頁)			

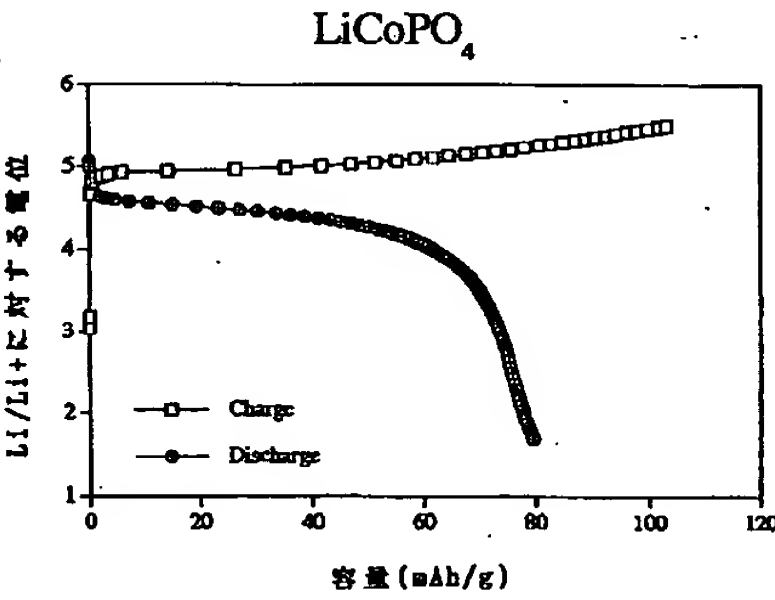
(21)出願番号	特願平9-215424	(71)出願人	000004282 日本電池株式会社 京都府京都市南区吉祥院西ノ庄猪之馬場町 1番地
(22)出願日	平成9年(1997) 7月4日	(72)発明者	カリル アミン 京都市南区吉祥院西ノ庄猪之馬場町1番地 日本電池株式会社内

(54)【発明の名称】 リチウム電池用活物質

(57)【要約】

【課題】高エネルギー密度で、高電圧なリチウム電池を可能とする正極活物質を提供する。

【解決手段】リチウムイオン電池系で正極活物質として使用可能な、カンラン石型構造を有する式  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (M: Co, Ni, Mn, Me: Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Zn, Ge, Cu, Cr) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) で表される活物質。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】オリビン構造を有し、式  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $\text{M} : \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}$ ), ( $\text{Me} : \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Cu}, \text{Cr}$ ) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) で表されることを特徴とするリチウム電池用活物質。

【請求項2】前記オリビン構造が斜方晶型対称性を有することを特徴とする請求項1に記載のリチウム電池用活物質。

【請求項3】前記斜方晶型相の単位格子パラメータが、 $\text{LiMnPO}_4$  の場合には  $a=6.11 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $b=10.46 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $c=4.73 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $\text{LiNiPO}_4$  の場合には  $a=5.86 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $b=10.07 \pm 0.20 \text{ \AA}$ 、 $c=4.68 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $\text{LiCoPO}_4$  の場合には  $a=5.92 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $b=10.21 \pm 0.50 \text{ \AA}$ 、 $c=4.70 \pm 0.50 \text{ \AA}$  であることを特徴とする請求項2に記載のリチウム電池用活物質。

【請求項4】前記斜方晶型対称性が空間群  $\text{Pmnb}$  を有することを特徴とする請求項2に記載のリチウム電池用活物質。

【請求項5】請求項1記載のリチウム電池用活物質をリチウム電池用正極活物質として含有する電極。

【請求項6】請求項5記載の電極と、電解液、 $\text{Li}$ 、 $\text{Li}$ -合金、 $\text{Li}_x\text{SnO}_2$ 、及び炭素材料である負極活物質とを備えた電池。

## 【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】本発明は、リチウム電池の改良に関するものである。

【従来の技術】エレクトロニクスの急速な進歩と小型化に伴って、信頼性があり、軽量で、かつ高エネルギー密度を有する電池が必要となっている。この点に関してリチウム電池が有望である。なぜなら、リチウム電池は、高い電圧及びエネルギー密度を有しており、かつ耐用年数が長いからである。しかしながら、金属  $\text{Li}$  アノードが呈するほとんどの非水電解液との化学的反応性、並びに金属  $\text{Li}$  に関連する安全性の問題のために、充電可能なリチウム電池の開発が数年間妨げられてきた。最近、二次リチウム電池に新たな関心が寄せられている。これは、金属  $\text{Li}$  の代わりに  $\text{Li}$  挿入化合物をアノードとして利用することによって「リチウムイオン」電池を作製することに関連したものである。しかしながら、この系では、カソードホスト及びアノードホストの選択に注意を払う必要がある。層状  $\text{LiMO}_2$  ( $\text{M} : \text{Co}, \text{Ni}$ ) [Mat. Res. Bull. 15 (1980) 783, J. Appl. Phys. 19 (1980) 305] 及び三次元スピネル型酸化物  $\text{LiM}_2\text{O}_4$  [Mat. Res. Bull. 11. 18 (1983) 461, Mat. Res. Bull. 19 (1984) 179] は放電中間電圧がリチウムに対して約4Vの位置にあり、リチウムイオン電池用の魅力的なカソードとなっている。更に最近になって、他の型のカソード材料がリチウムイオン系で利用できるかの研究がなされた。これらの化合物は、 $\text{Li}_x\text{M}_2(\text{PO}_4)_3$  ( $\text{M} : \text{Ti}, \text{V}, \text{Fe}$ ) 及び  $\text{M}_2(\text{SO}_4)_3$  ( $\text{M} : \text{Ti}, \text{Fe}$ ) [Solid State Ionic 92 (1996) 1] など

のNasicon関連3D骨格から構成されている。

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、従来の正極活物質では達成されなかった、高エネルギー密度で高電圧を得ることが可能なリチウム電池用活物質を提供することである。

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、リチウム二次電池用の正極活物質として使用可能な式  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $\text{M} : \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}$ ), ( $\text{Me} : \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Cu}, \text{Cr}$ ) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) で表され、これらは、斜方晶型対称性及び空間群  $\text{Pmnb}$  を有するオリビン構造を呈することを特徴とすることである。

## 【発明の実施の形態】

【実施例】次に、本発明者が行った実験を参照して、また添付の図面を参照して、実施例により本発明を説明するが、これに限定されるものではない。

【実施例1】 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{MnCO}_3$ 、及び  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  から成る化学量論比の混合物を用いた一段反応によって、本発明の  $\text{LiMnPO}_4$  を調製した。この混合物を最初にめのう乳鉢ですりつぶし、 $400\text{kgf/cm}^2$  で加圧してペレットにし、次に  $450^\circ\text{C}$  において空気中で4時間か焼し、その後、 $800^\circ\text{C}$  において24時間加熱した。

【実施例2】 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{MnCO}_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、並びに次のうちのいずれか一つ、即ち、鉄供給源として  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、マグネシウム供給源として  $\text{MgO}$ 、コバルト供給源として  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 、又はニッケル供給源として  $\text{NiO}$  から成る化学量論比の混合物を用いた一段反応によって、本発明の  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $\text{Me} : \text{Mg}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe}$ ) を調製した。この混合物を最初にめのう乳鉢ですりつぶし、 $400\text{kgf/cm}^2$  で加圧してペレットにし、次に  $450^\circ\text{C}$  において空気中で4時間か焼し、その後、 $800^\circ\text{C}$  において24時間加熱した。鉄をドーピングする際は、窒素流動下でか焼を行った。

【実施例3】 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NiO}$ 、及び  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  から成る化学量論比の混合物を用いた一段反応によって、本発明の  $\text{LiNiPO}_4$  を調製した。この混合物を最初にめのう乳鉢ですりつぶし、 $400\text{kgf/cm}^2$  で加圧してペレットにし、次に  $350^\circ\text{C}$  において窒素流動下で8時間か焼し、その後、 $750^\circ\text{C}$  において15時間加熱した。

【実施例4】 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{MnCO}_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、並びに次のうちのいずれか一つ、即ち、鉄供給源として  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、マグネシウム供給源として  $\text{MgO}$ 、コバルト供給源として  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 、又はマンガン供給源として  $\text{MnCO}_3$  から成る化学量論比の混合物を用いた一段反応によって、本発明の  $\text{LiNi}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) ( $\text{Me} : \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Fe}$ ) を調製した。この混合物を最初にめのう乳鉢ですりつぶし、 $400\text{kgf/cm}^2$  で加圧してペレットにし、次に  $350^\circ\text{C}$  において空気中で8時間か焼し、その後、 $750^\circ\text{C}$  において24時間加熱した。鉄をドーピングする際は、窒素流動下でか焼を行った。

【実施例5】 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Co}_3\text{O}_4$ 、及び  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  から成る化学量論比の混合物を用いた二段反応によって、本発明

の $\text{LiCoPO}_4$ を調製した。この混合物を最初にめのう乳鉢ですりつぶし、 $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ で加圧してペレットにし、次に $350^\circ\text{C}$ において空気中で9時間か焼した。この物質を冷却し、すりつぶし、再び $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ で加圧してペレットにし、その後、 $750^\circ\text{C}$ において30時間加熱した。

【実施例6】 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Co}_3\text{O}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、並びに次のうちのいずれか一つ、即ち、鉄供給源として $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、マグネシウム供給源として $\text{MgO}$ 、ニッケル供給源として $\text{NiO}$ 、又はマンガン供給源として $\text{MnCO}_3$ から成る化学量論比の混合物を用いた一段反応によって、本発明の $\text{LiCo}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) ( $\text{Me} : \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Fe}$ )を調製した。この混合物を最初にめのう乳鉢ですりつぶし、 $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ で加圧してペレットにし、次に $350^\circ\text{C}$ において空気中で8時間か焼し、その後、 $750^\circ\text{C}$ において24時間加熱した。鉄をドーピングする際は、窒素流動下でか焼を行った。図1A, 1B, 1Cは、それぞれ本発明に従って得られた純粋な $\text{LiMnPO}_4$ 、 $\text{LiNiPO}_4$ 、 $\text{LiCoPO}_4$ のX線回折パターンを表している。三つのX線回折パターンはいずれも、斜方晶型対称性及び空間群 $\text{Pmb}$ に帰属できる。 $\text{LiMnPO}_4$ のX線回折パターンの帰属後に導出された $\text{LiMnPO}_4$ の単位格子パラメータは、 $a=6.11 \pm 0.5 \text{ \AA}$ 、 $b=10.46 \pm 0.5 \text{ \AA}$ 、 $c=4.73 \pm 0.5 \text{ \AA}$ ； $\text{LiNiPO}_4$ に対する単位格子パラメータは、 $a=5.86 \pm 0.5 \text{ \AA}$ 、 $b=10.07 \pm 0.2 \text{ \AA}$ 、 $c=4.68 \pm 0.5 \text{ \AA}$ ； $\text{LiCoPO}_4$ に対する単位格子パラメータは、 $a=5.92 \pm 0.5 \text{ \AA}$ 、 $b=10.21 \pm 0.5 \text{ \AA}$ 、 $c=4.70 \pm 0.5 \text{ \AA}$ である。図2は、 $\text{LiCoPO}_4$ のサイクリックボルタンメトリーの一例を表している。この物質は、 $5.1\text{V}$ の位置に一つの酸化ピークを、また $4.7\text{V}$ の位置に一つの還元ピークを呈する。更に、もう一つの強い還元ピークが $0.7\text{V}$ 付近に観測されるが、対応する酸化ピークは観測されなかった。この場合は、 $6\text{V}$ まで耐えることが知られているスルホランに溶解した $\text{LiPF}_6$ を、電解液として使用した。図3は、本発明の物質 $\text{LiCoPO}_4$ の第一サイクルの充放電を表している。試験は、 $\text{LiPF}_6$  + スルホランを電解液として使用したテフロン製電槽中で $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度において実施した。この電池は、負極（87%の本発明の活物質、5%のカーボンブラック、8%のPVDFの組成）、リチウム対極、及びリチウム参照電極を備えている。最初に、この電池を充電して本発明の物質からリチウムを抽出し、次に、放

電してリチウムイオンを挿入してもとに戻す。この電池は、放電中、 $4.7\text{V}$ の位置に平坦部を呈し、容量は $80\text{mAh}/\text{g}$ である。しかしながら、充電容量はわずかに高く、約 $105\text{mAh}/\text{g}$ である。この値は、1個のリチウムを抽出挿入する場合の理論容量 $167\text{mAh}/\text{g}$ よりも依然として低い。調製条件を最適化することによって改良可能であることを示している。図4は、本発明の物質 $\text{LiCoPO}_4$ の第一サイクルの充放電を表している。試験は、 $\text{LiPF}_6$  + スルホランを電解液として使用したタイプのテフロン電槽中で $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度において実施した。この電池の充放電の電位範囲は、 $1 \leq V \leq 5.3$ であった。放電中、 $4.7\text{V}$ の位置に平坦部が観測された他に、 $1\text{V}$ 付近にもう一つの平坦部が観測された。全体としての容量は非常に高く、約 $350\text{mAh}/\text{g}$ である。

【発明の効果】本発明の、カンラン石型構造を有する式 $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $\text{M} : \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Me} : \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Ge}, \text{Cu}, \text{Cr}$ ) ( $0 \leq x \leq 0.5$ )で表される活物質は、リチウムイオン電池系で正極活物質として使用可能で、容量が $170\text{mAh}/\text{g}$ と大きく、しかも電位が $5\text{V}$ と高い、という優れた効果を有している。

【図面の簡単な説明】

【図1A】本発明の物質 $\text{LiMnPO}_4$ のX線回折パターンを表している図である。

【図1B】本発明の物質 $\text{LiNiPO}_4$ のX線回折パターンを表している図である。

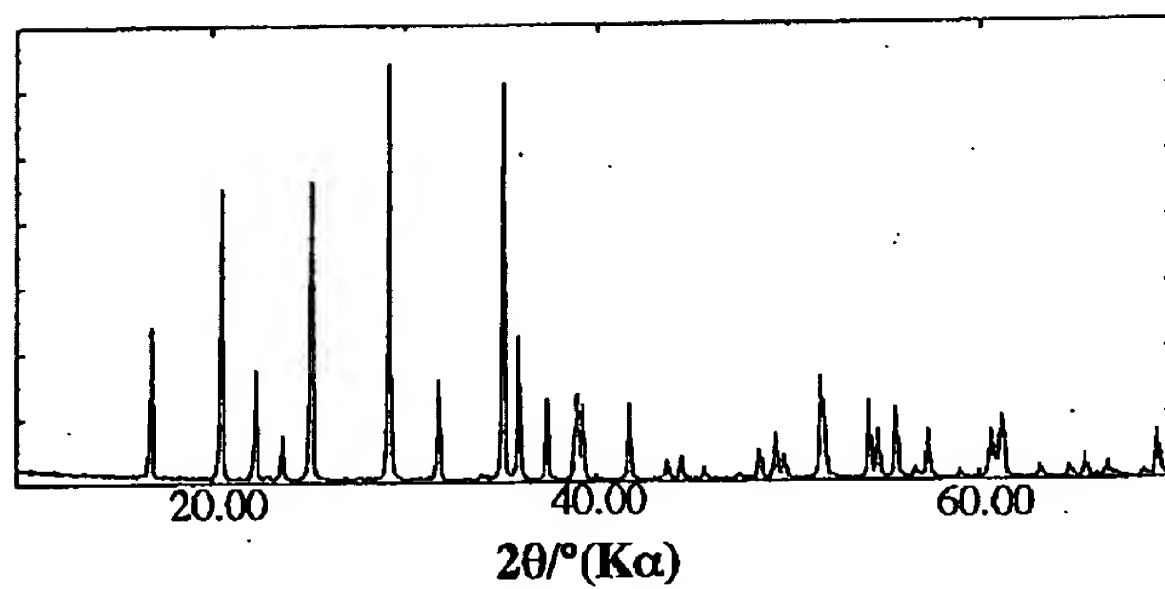
【図1C】本発明の物質 $\text{LiCoPO}_4$ のX線回折パターンを表している図である。

【図2】本発明の物質 $\text{LiCoPO}_4$ のサイクリックボルタンモグラムを表している図である。（走査速度は $2\text{mV}/\text{分}$ であった）

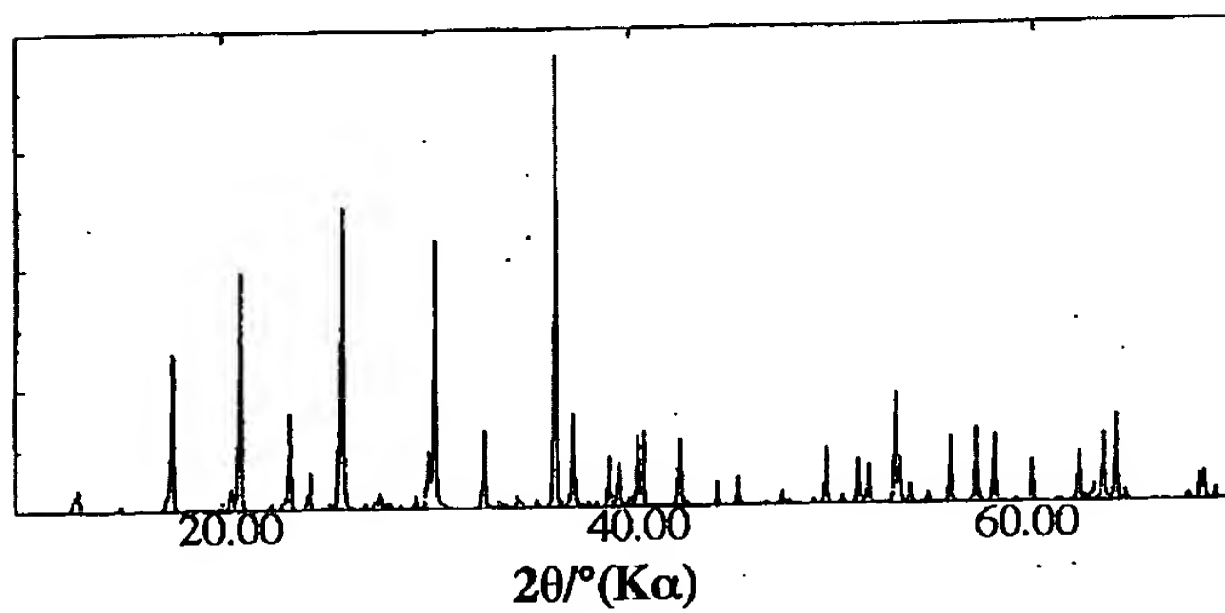
【図3】リチウム対電極、リチウム参照電極、及び本発明の活物質 $\text{LiCoPO}_4$ から作られた電極を含んでなる電池の第一サイクル目の充放電曲線を表している。この場合は、この電池を $5.3\text{V}$ まで充電し、 $1.5\text{V}$ まで放電させた。

【図4】リチウム対電極、リチウム参照電極、及び本発明の活物質 $\text{LiCoPO}_4$ から作られた電極を含んでなる電池の第一サイクルの充放電曲線を表している。この場合は、この電池を $5.3\text{V}$ まで充電し、 $1\text{V}$ まで放電させた。

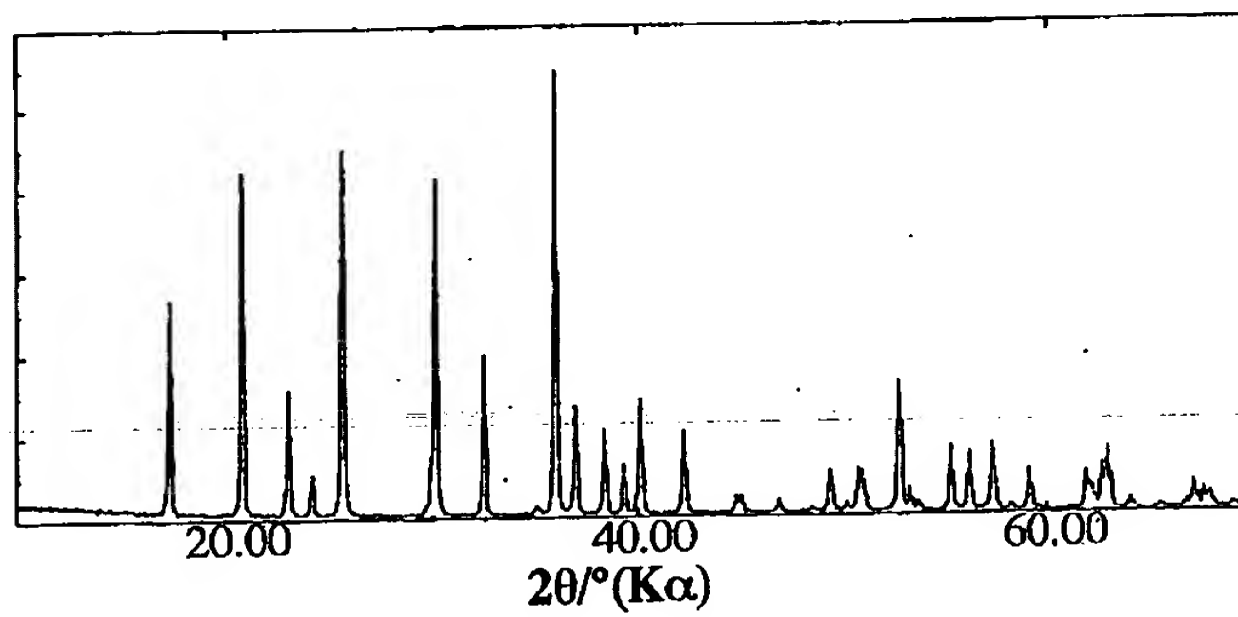
【図1A】



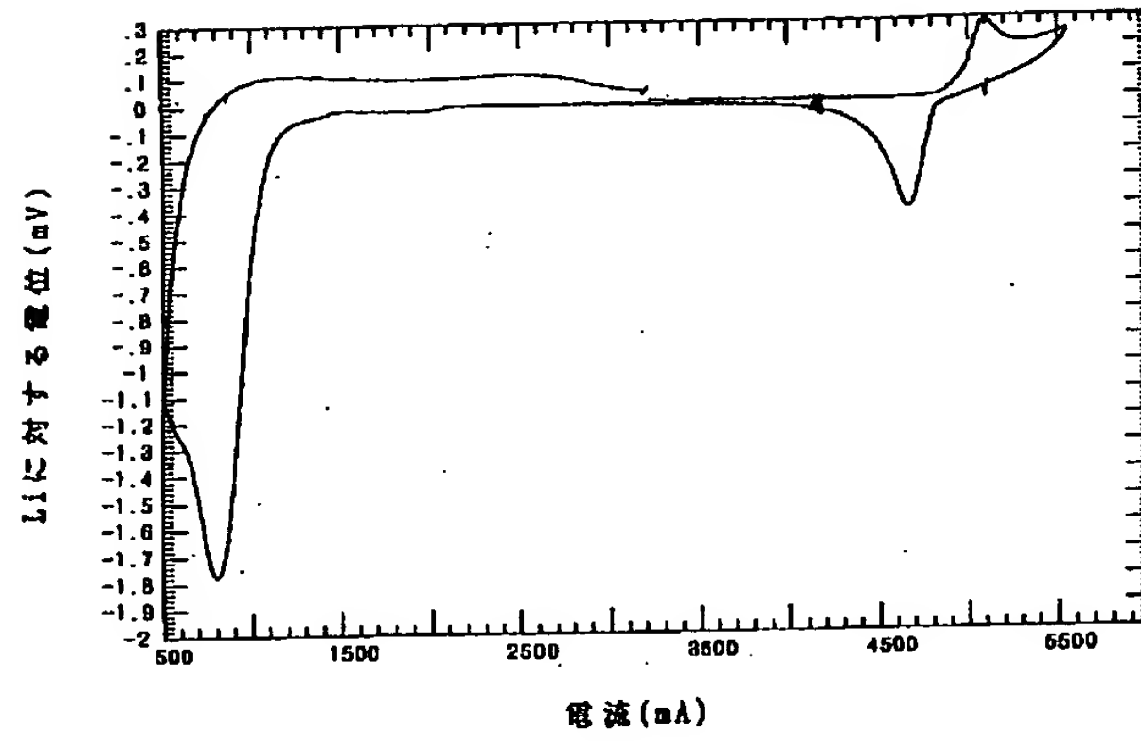
【図1B】



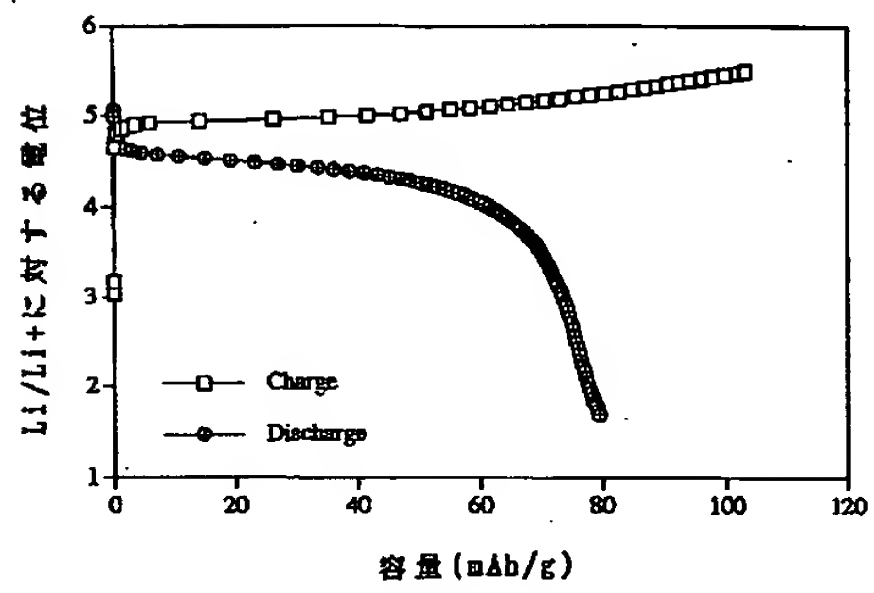
【図1C】



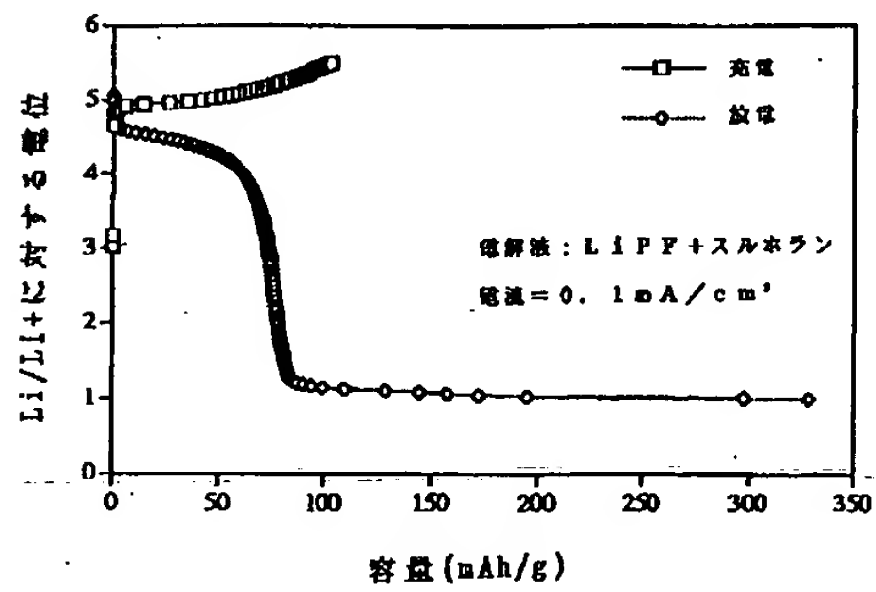
【図2】



【図3】



【図4】



【外国語明細書】

## 1- Title :

" Active material for lithium batteries "

## 2- CLAIMS:

The following are claimed:

1- An active material of formula  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (M: Co, Ni, Mn),  
(Me: Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Zn, Ge, Cu, Cr ) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) having an  
olivine structure for lithium batteries.

2- An active material in accordance with claim 1 where the olivine  
structure has an orthorhombic symmetry

3- An active material in accordance with claim 2 in which the unit cell  
parameters of the orthorhombic phase are:  $a=6.11 \pm 0.50 \text{ \AA}$ ,  
 $b=10.46 \pm 0.50 \text{ \AA}$  and  $c=4.73 \pm 0.50 \text{ \AA}$  in the case of  $\text{LiMnPO}_4$ ;  $a=$

2

$5.86 \pm 0.50 \text{ \AA}$ ,  $b = 10.07 \pm 0.20 \text{ \AA}$  and  $c = 4.68 \pm 0.50 \text{ \AA}$  in the case of  $\text{LiNiPO}_4$  and  $a = 5.92 \pm 0.50 \text{ \AA}$ ,  $b = 10.21 \pm 0.50 \text{ \AA}$  and  $c = 4.70 \pm 0.50 \text{ \AA}$  in the case of  $\text{LiCoPO}_4$ .

4- An active material in accordance with claim 2 where the orthorhombic symmetry has a space group of Pmnb

5- An electrode comprises a material in accordance with claim 1 as a positive active material for lithium batteries.

6- A cell comprising a positive active material in accordance with claim 5, an electrolyte and a negative active material which is Li, Li-alloy,  $\text{Li}_x\text{SnO}_2$ , carbon materials.

### 3- Detailed Description of Invention

#### 3-1 Description of previous work

The rapid advance and miniaturization in electronics demand reliable, lightweight, high energy density batteries. Lithium batteries are promising in this regard as they offer higher voltage and energy density, and longer self-life. However, the chemical reactivity of a metallic Li anode with most non aqueous electrolytes as well as the safety problems associated with

}

metallic Li has hindered the development of rechargeable lithium batteries for several years. Recently secondary lithium batteries have received renewed interest with respect to employing a Li-insertion compound as anode instead of metallic Li to give the "lithium ion" batteries. This system, however, require careful selection of cathode and anode hosts. The layered  $\text{LiMO}_2$  (M: Co, Ni) [Mat. Res. Bull. 15 (1980) 783, J. Appl. Phys. 19 (1980) 305] and the three dimensional spinel oxide  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  [Mat. Res. Bull. 18 (1983) 461, Mat. Res. Bull., 19 (1984) 179] having a mid discharge voltage at about 4V against lithium have become attractive cathode for lithium ion batteries. More recently, other type of cathode materials were investigated for a possible use in lithium ion system. These compounds are composed of Nasicon related 3D framework such as  $\text{Li}_x\text{M}_2(\text{PO}_4)_3$  (M: Ti, V, Fe) and  $\text{M}_2(\text{SO}_4)_3$  (M: Ti, Fe) [Solid State ionic 92 (1996) 1].

### 3-2 Summary of the invention

The invention relates to a new active material of formula  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (M: Co, Ni, Mn), (Me: Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Zn, Ge, Cu, Cr) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) which could be used as positive active material for lithium secondary batteries.



/

According to the invention,  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (M: Co, Ni, Mn), (Me: Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Zn, Ge, Cu, Cr) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) materials present an olivine structure with an orthorhombic symmetry and a space group Pmnb.

### 3-3 Description of the invention

The invention will now be described, by way of non limiting illustrative examples, with reference to experiment which the applicant has conducted and with reference to the accompanying figures.

#### EXAMPLE-1

$\text{LiMnPO}_4$  in accordance of the present invention was prepared using a one stage reaction involving a stoichiometric mixture of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MnCO}_3$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . The mixture was first ground in an agate mortar and pressed into a pellet at  $400\text{kgf/cm}^2$  and then calcined in air at  $450^\circ\text{C}$  for 4 hours followed by heating at  $800^\circ\text{C}$  for 24 hours.

#### EXAMPLE 2

$\text{LiMn}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (Me: Mg, Ni, Co, Fe) in accordance of the present invention was prepared using a one step reaction involving a stoichiometric

J

mixture of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MnCO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  and either  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  as iron source,  $\text{MgO}$  as magnesium source,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  as cobalt source, or  $\text{NiO}$  as nickel source. The mixture was first ground in an agate mortar and pressed into a pellet at  $400\text{kgf/cm}^2$  and then calcined in air at  $450^\circ\text{C}$  for 4 hours followed by heating at  $800^\circ\text{C}$  for 24 hours. In the case of iron doping, the calcination was carried out under nitrogen flow.

#### EXAMPLE 3

$\text{LiNiPO}_4$  in accordance of the present invention was prepared using a one step reaction involving a stoichiometric mixture of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NiO}$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . The mixture was first ground in an agate mortar and pressed into a pellet at  $400\text{kgf/cm}^2$  and then calcined under nitrogen flow at  $350^\circ\text{C}$  for 8 hours followed by heating at  $750^\circ\text{C}$  for 15 hours.

#### EXAMPLE 4

$\text{LiNi}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) (Me: Mg, Mn, Co, Fe) in accordance of the present invention was prepared using a one step reaction involving a stoichiometric mixture of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MnCO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  and either  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  as iron source,  $\text{MgO}$  as magnesium source,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  as cobalt

source,  $\text{MnCO}_3$  as manganese source. The mixture was first ground in an agate mortar and pressed into a pellet at  $400\text{kgf/cm}^2$  and then calcined in air at  $350^\circ\text{C}$  for 8 hours followed by heating at  $750^\circ\text{C}$  for 24 hours. In the case of iron doping, the calcination was carried out under nitrogen flow.

#### EXAMPLE 5

$\text{LiCoPO}_4$  in accordance of the present invention was prepared using a two step reaction involving a stoichiometric mixture of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . The mixture was first ground in an agate mortar and pressed into a pellet at  $400\text{kgf/cm}^2$  and then calcined under air at  $350^\circ\text{C}$  for 9 hours. The material was cooled down, grounded and a pellet was again made by pressing at  $400\text{kgf/cm}^2$  before being heated at  $750^\circ\text{C}$  for 30 hours.

#### EXAMPLE 6

$\text{LiNi}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) (Me: Mg, Mn, Co, Fe) in accordance of the present invention was prepared using a one step reaction involving a stoichiometric mixture of  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  and either  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  as iron source,  $\text{MgO}$  as magnisium source,  $\text{NiO}$  as nickel source,  $\text{MnCO}_3$  as manganese source. The mixture was first ground in an

agate mortar and pressed into a pellet at  $400\text{kgf/cm}^2$  and then calcined in air at  $350^\circ\text{C}$  for 8 hours followed by heating at  $750^\circ\text{C}$  for 24 hours. In the case of iron doping, the calcination was carried out under nitrogen flow.

Fig.1 A, B, C show the X-ray diffraction patterns of a pure  $\text{LiMnPO}_4$ ,  $\text{LiNiPO}_4$ ,  $\text{LiCoPO}_4$ , respectively, obtained according to the present invention. All three X-ray diffraction patterns could be indexed with orthorhombic symmetry and a space group  $\text{Pmnb}$ . The unit cell parameter of  $\text{LiMnPO}_4$  deduced after indexing the corresponding pattern are:  $a = 6.11 \pm 0.5\text{\AA}$ ,  $b = 10.46 \pm 0.5\text{\AA}$  and  $c = 4.73 \pm 0.5\text{\AA}$ ; Those corresponding to  $\text{LiNiPO}_4$  are  $a = 5.86 \pm 0.5\text{\AA}$ ,  $b = 10.07 \pm 0.2\text{\AA}$ ,  $c = 4.68 \pm 0.50\text{\AA}$ , and those corresponding to  $\text{LiCoPO}_4$  are  $a = 5.92 \pm 0.5\text{\AA}$ ,  $b = 10.21 \pm 0.5\text{\AA}$ ,  $c = 4.70 \pm 0.5\text{\AA}$ .

Fig 2 shows an example of the cyclic voltammetry of  $\text{LiCoPO}_4$ . The material exhibit one oxidation peak at 5.1V and one reduction peak at 4.7V. In addition, an other strong reduction peak is observed at around 0.7V, but no corresponding oxidation peak was observed. In this case,  $\text{LiPF}_6$  dissolved in sulfolane which is known to bear up to 6V was used as electrolyte.

J.

Fig.3 shows the charge and discharge of the first cycle of the material  $\text{LiCoPO}_4$  of the present invention. The test was conducted in Teflon cell type using  $\text{LiPF}_6$  + sulfolane as electrolyte at a current density of  $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ . The cell comprises a negative electrode (87% of the active material of the present invention, 5% carbon black, 8% PVDF), a lithium counter and a lithium reference. First the cell was charged to extract lithium from the material of the present invention and then discharged to insert lithium ions back. The cell shows a flat plateau at 4.7 V during the discharge process with a capacity of  $80\text{mAh}/\text{g}$ . The charge capacity, however, is slightly higher with about  $105\text{mAh}/\text{g}$ . This value are still lower than the theoretical capacity which is of  $167\text{mAh}/\text{g}$  in the case of removing and extracting one lithium, but could be improved by optimizing the preparation condition.

Fig.4 shows the charge and discharge of the first cycle of the material  $\text{LiCoPO}_4$  of the present invention. The test was conducted in Teflon cell type using  $\text{LiPF}_6$  + sulfolane as electrolyte at a current density of  $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ . The potential range for charging and discharging the cell was between  $1\leq V\leq 5.3$ . In addition to the 4.7V plateau observed during the

discharge process, an other plateau at around 1V could be observed. The over all capacity is very high about 350 mAh/g

### *3-4 Merits of the invention*

The invention relates to a new active material of formula  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (M: Co, Ni, Mn, Me: Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Zn, Ge, Cu, Cr ) ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) having an olivine structure which could be used as positive active material in lithium ion battery system with a capacity as high as 170mAh/g and a potential as high as 5V.

## **4- Brief Description of Drawing**

Fig. 1-A shows the X-ray diffraction pattern of the material  $\text{LiMnPO}_4$  of the present invention

Fig. 1-B shows the X-ray diffraction pattern of the material  $\text{LiNiPO}_4$  of the present invention

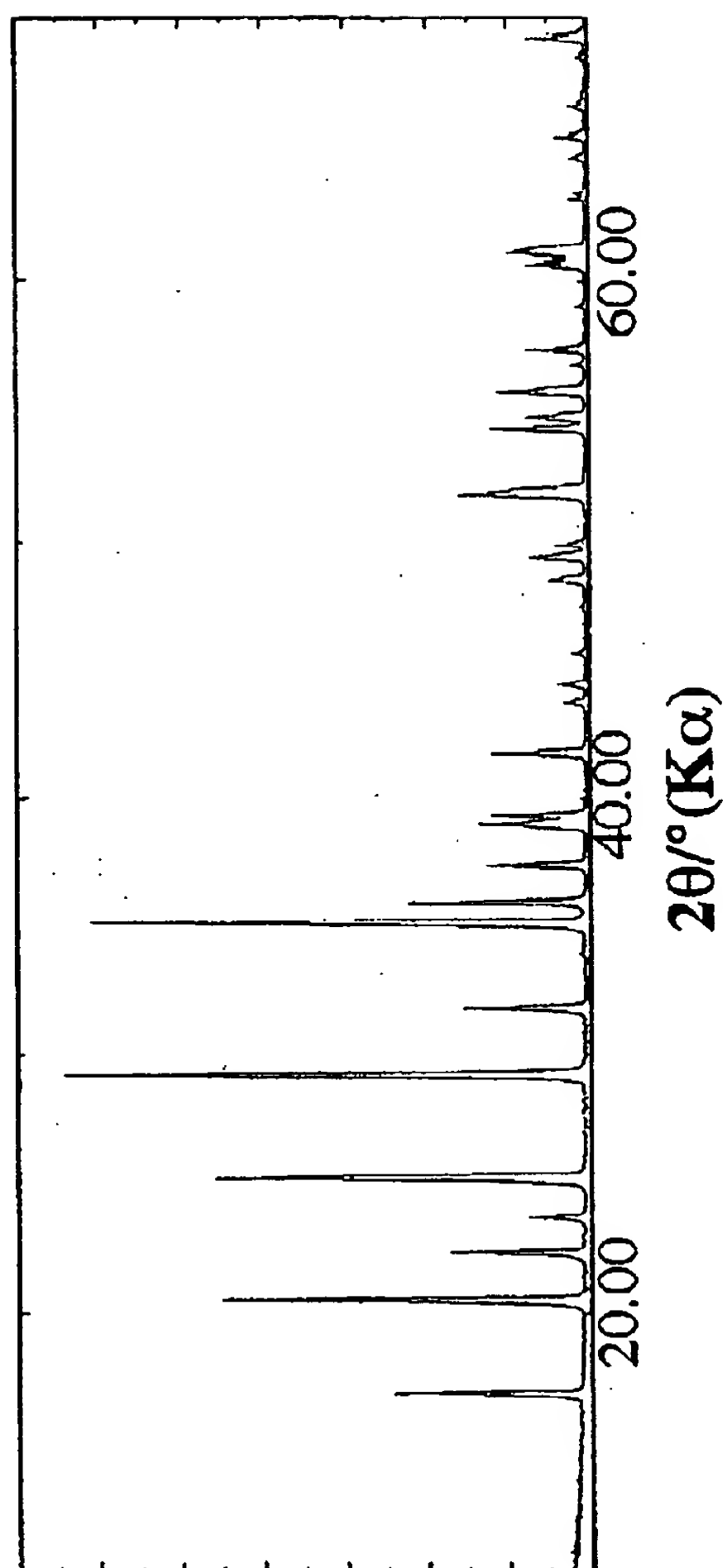
Fig. 1-C shows the X-ray diffraction pattern of the material  $\text{LiCoPO}_4$  of the present invention

Fig. 2 shows the cyclic voltammogram of the material  $\text{LiCoPO}_4$  of the present invention. (Scan rate was 2mV/min)

Fig. 3 shows the charge and discharge curves of the first cycle of a cell made of lithium counter, lithium reference and an electrode made of the active material  $\text{LiCoPO}_4$  of the present invention. In this case the cell was charged at 5.3V and discharged at 1.5V

Fig. 4 shows the charge and discharge curves of the first cycle of a cell made of lithium counter, lithium reference and an electrode made of the active material  $\text{LiCoPO}_4$  of the present invention. In this case the cell was charged at 5.3V and discharged at 1V

【図1A】



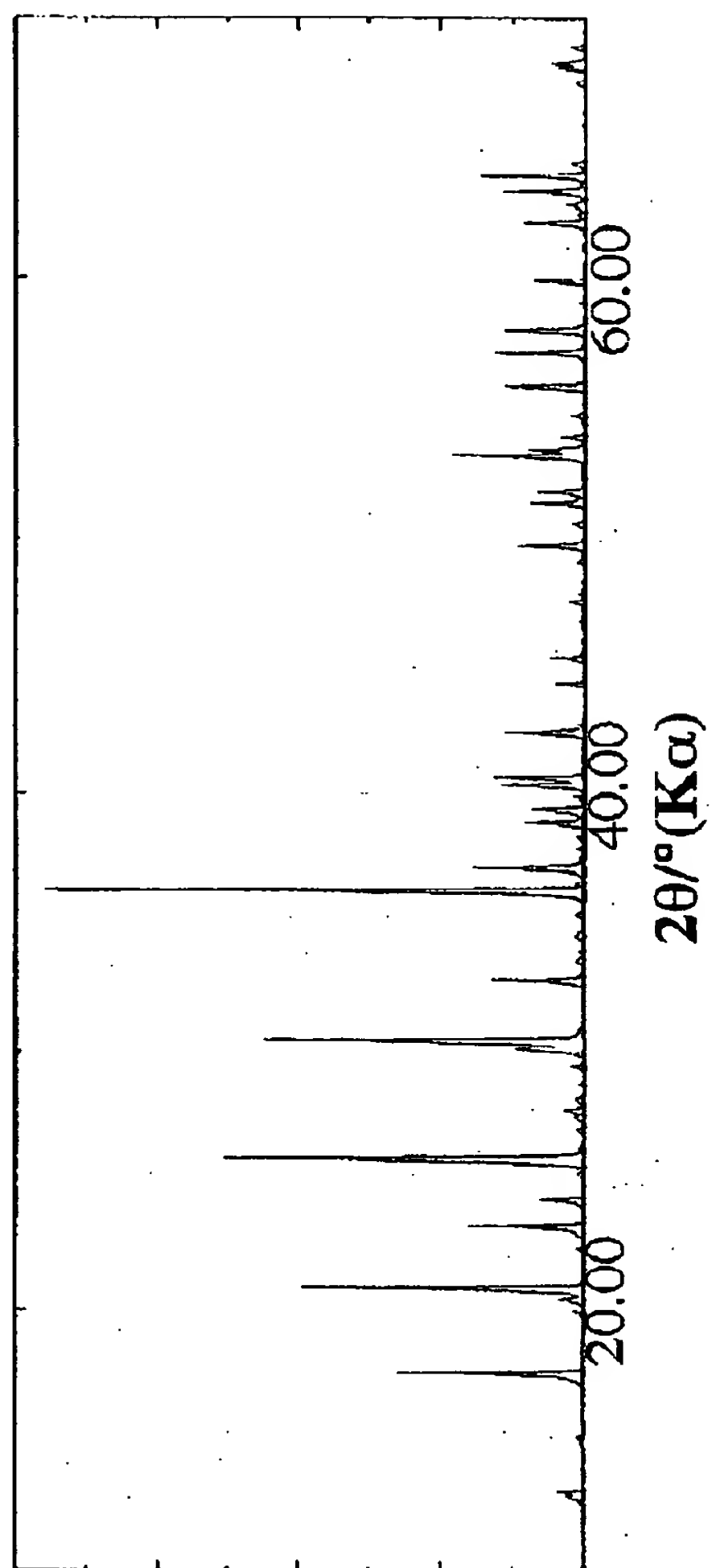


整理番号 10327

ページ2

【書類名】外国語図面

【図1B】

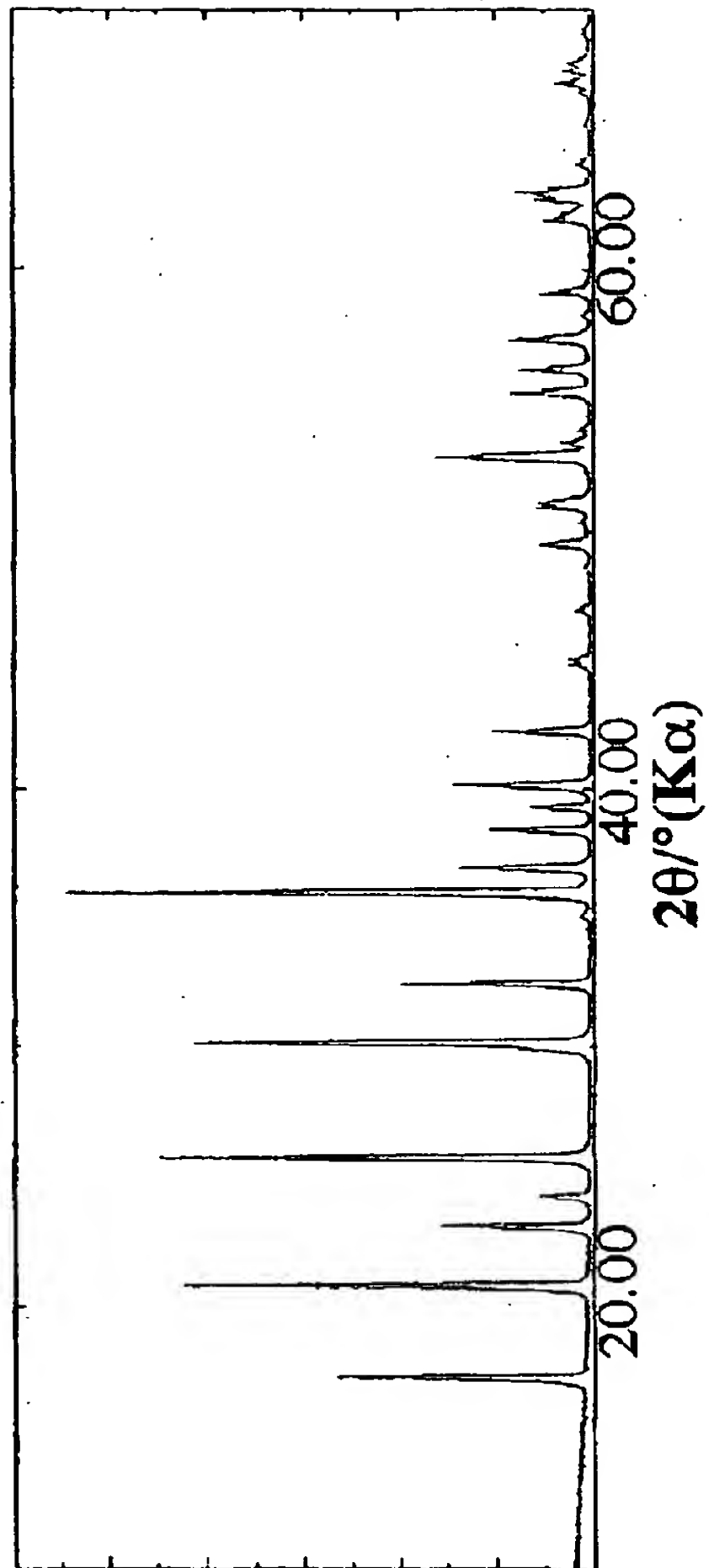


整理番号 10327

ページ3

【書類名】 外国語図面

【図1C】

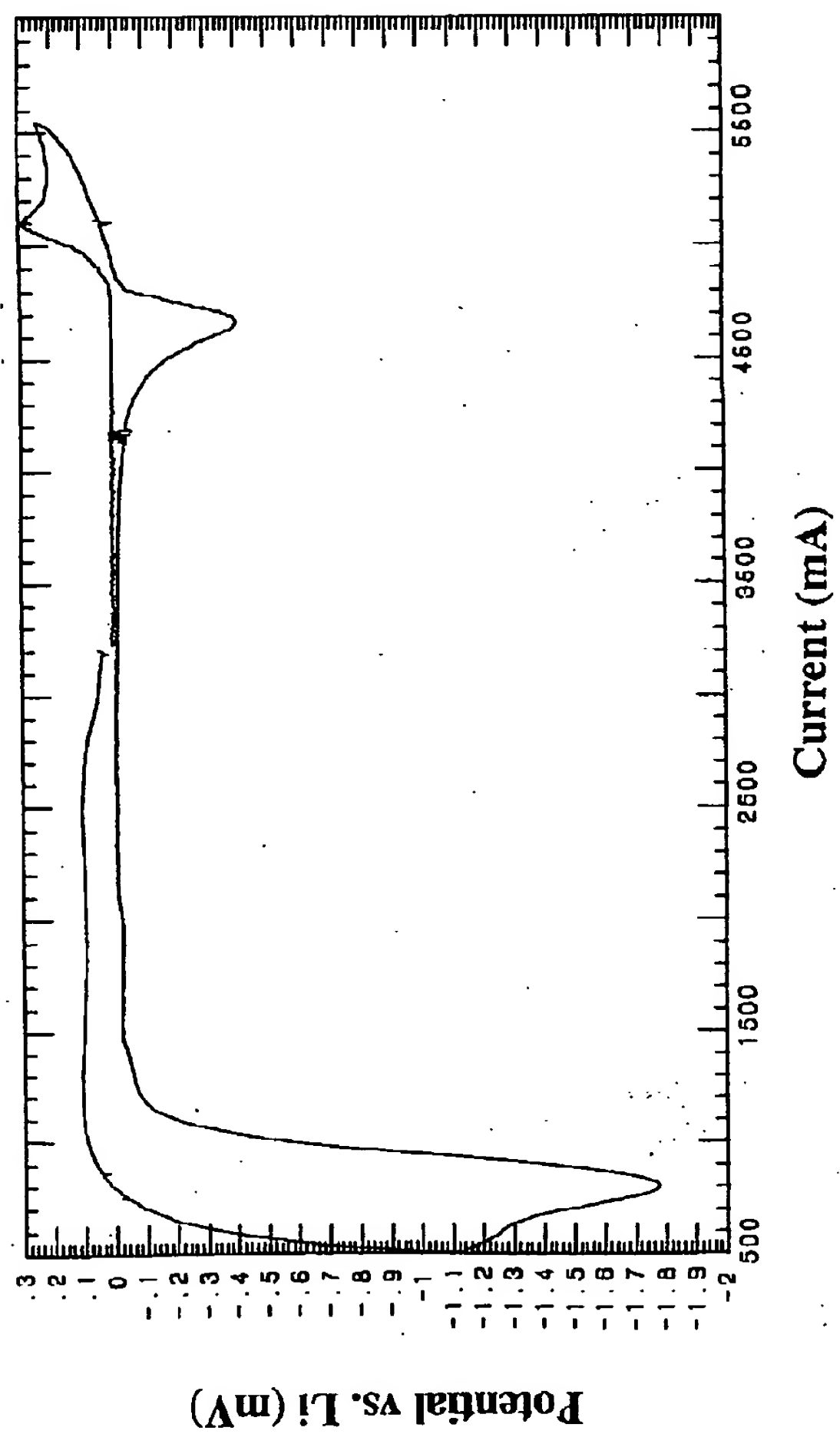


整理番号 10327

ページ4

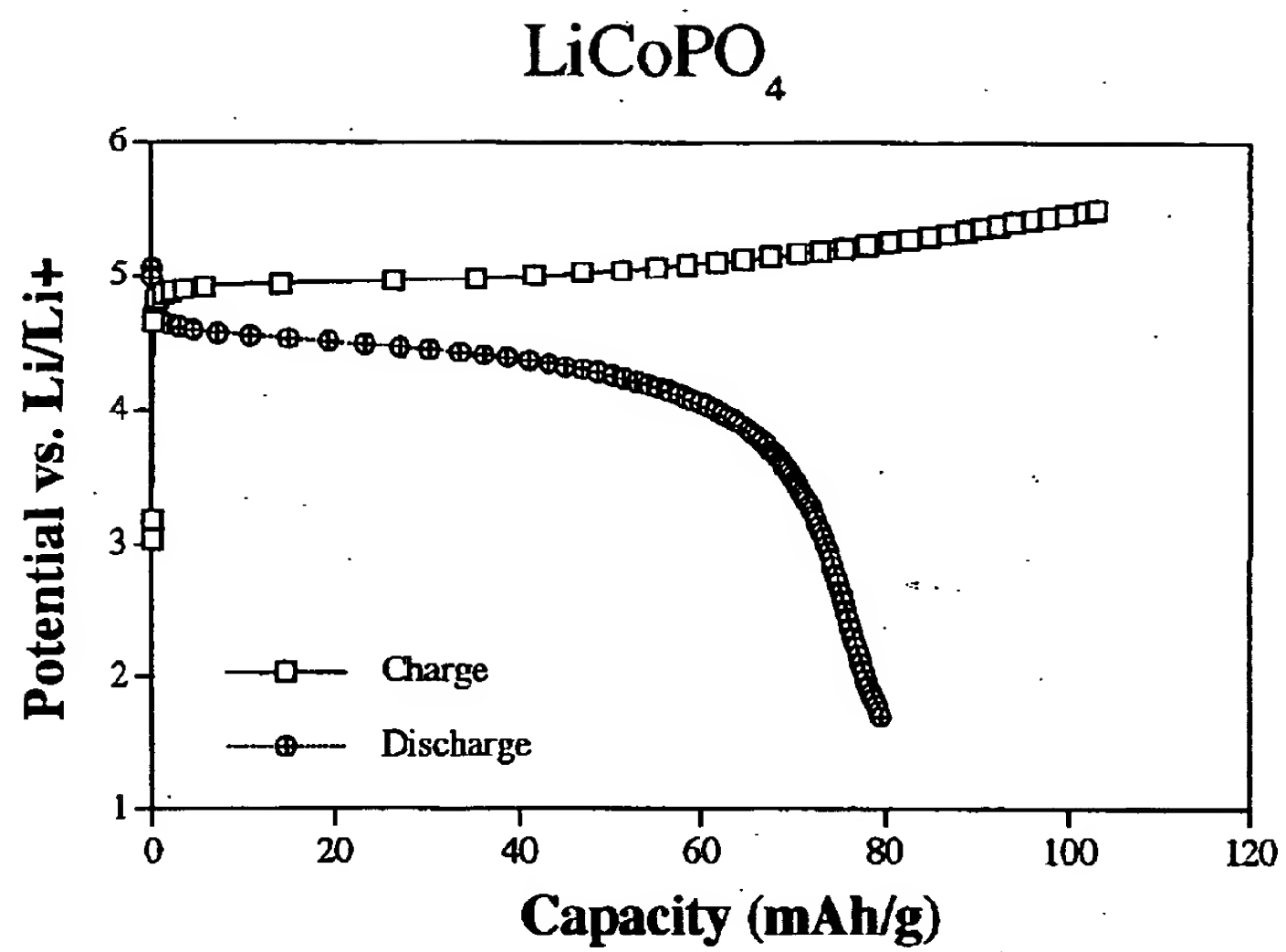
【書類名】—外国語図面

【図2】



【書類名】—外国語図面

【図3】

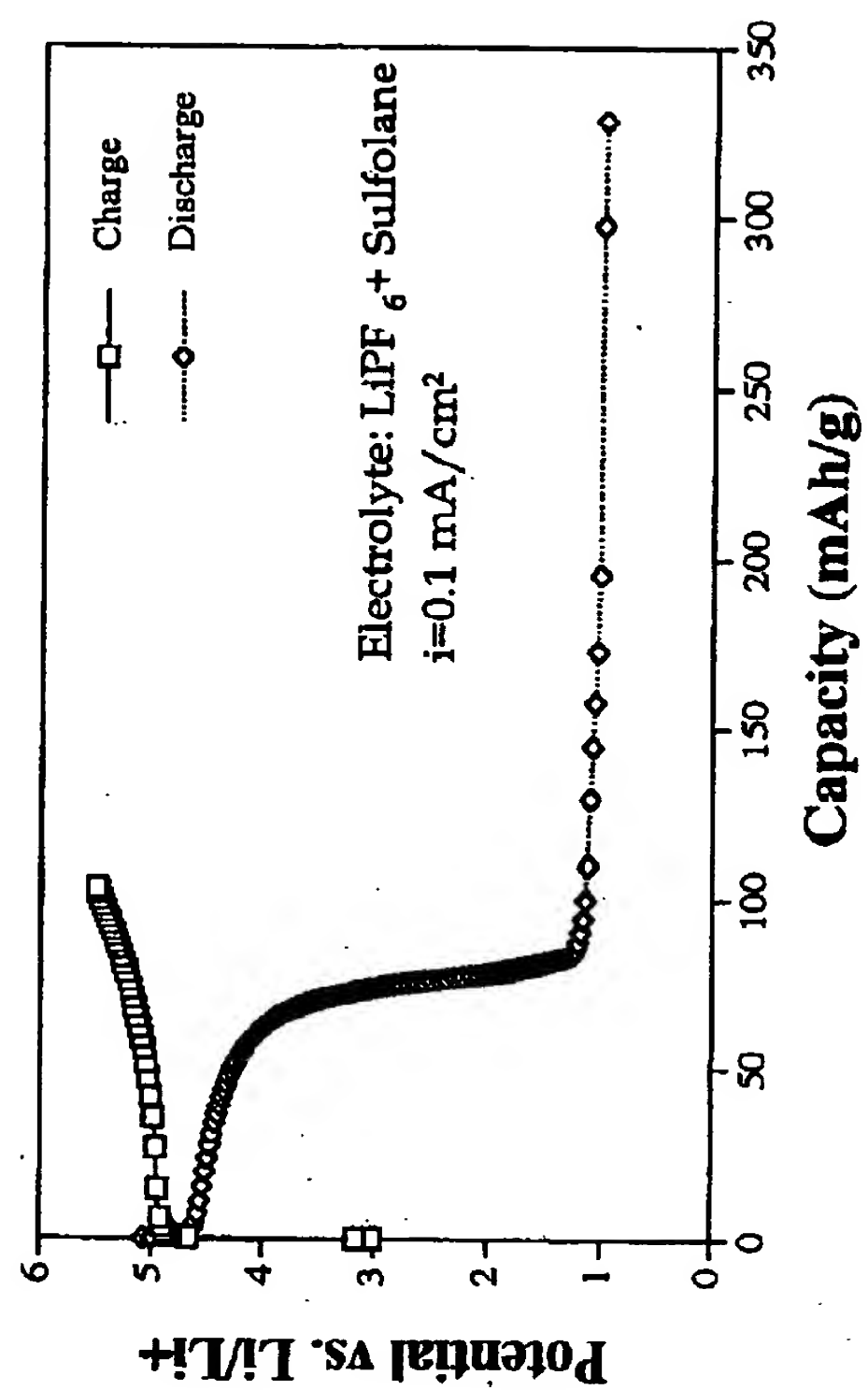


整理番号 10327

ページ6

【書類名】 外国語図面

【図4】



### 1-Abstract

The invention relates to a new active material of formula  $\text{LiM}_{1-x}\text{Me}_x\text{PO}_4$  (M: Co, Ni, Mn, Me: Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Zn, Ge, Cu, Cr )  
( $0 \leq x \leq 0.5$ ) having an olivine structure. which could be used as positive active material in lithium ion battery system.

### 2-Representative Drawing

Fig. 3